

# 水库除险加固工程中的渗流控制技术

李亚林

第五师水利工程管理服务中心

DOI:10.12238/hwr.v9i9.6572

**[摘要]** 本文以水库除险加固工程中的渗流控制技术为研究对象。首先剖析了渗流对水库的危害——如引发坝体管涌、流土,威胁坝体结构安全,进而强调渗流控制对保障水库正常运行、避免溃坝风险的关键意义。其次系统阐述了三类核心渗流控制技术:水平防渗技术、垂直防渗技术及排水减压技术,并结合实际工程案例,验证了不同技术在提升坝体防渗性能、降低渗压方面的显著效果。最后,展望了渗流控制技术的发展趋势,如智能化监测与防渗技术融合,以期增强水库安全性与稳定性提供技术支撑及理论参考,助力水库除险加固工程质量提升。

**[关键词]** 水库除险加固; 渗流控制技术; 水平防渗; 垂直防渗

中图分类号: TV697 文献标识码: A

## Seepage Control Technology in Reservoir Risk Removal and Reinforcement Projects

Yalin Li

Fifth Division Water Conservancy Engineering Management Service Center

**[Abstract]** Research on Seepage Control Technology in Reservoir Reinforcement Engineering Abstract This article takes seepage control technology in reservoir reinforcement engineering as the core research object. Firstly, it analyzes the harm of seepage to the reservoir, such as causing dam body piping and soil flow, threatening the structural safety of the dam body. Then, it emphasizes the key significance of seepage control to ensure the normal operation of the reservoir and avoid the risk of dam failure. The article systematically elaborates on three core seepage control technologies: horizontal seepage prevention technology, vertical seepage prevention technology, and drainage pressure reduction technology. Combined with practical engineering cases, it verifies the significant effects of different technologies in improving the seepage prevention performance of dam bodies and reducing seepage pressure. Finally, looking forward to the development trend of seepage control technology, such as the integration of intelligent monitoring and anti-seepage technology, in order to provide technical support and theoretical reference for enhancing the safety and stability of reservoirs, and to help improve the quality of reservoir reinforcement projects.

**[Key words]** Reservoir hazard removal and reinforcement; Seepage control technology; Horizontal anti-seepage; Vertical anti-seepage

### 引言

水库作为重要的水利设施,在防洪、灌溉、供水、发电等方面发挥着巨大作用。然而,随着时间的推移,部分水库出现了不同程度的病害问题,其中渗流问题尤为突出。渗流可能导致坝体滑坡、管涌、流土等险情,严重威胁水库的安全运行。因此,在水库除险加固工程中,采取有效的渗流控制技术至关重要。通过合理运用渗流控制技术,可以减少渗流量、降低浸润线、提高坝体的稳定性,保障水库的正常功能和周边地区的安全。

#### 1 渗流对水库的危害及渗流控制的重要性

##### 1.1 渗流对水库的危害

渗流对水库的危害具有隐蔽性、渐进性特点,长期积累易引发毁灭性后果,主要体现在三个方面。首先是管涌破坏,水库运行中,渗流水会携带坝体土料中的细颗粒逐渐流失,随着细颗粒不断被带走,坝体内会形成贯通的管涌通道。初期管涌可能仅表现为局部渗水量增大,但若未及时处理,通道会持续扩大,导致坝体内部结构松散、强度骤降,最终可能引发坝体坍塌,威胁水库安全<sup>[1]</sup>。

其次是坝体滑坡风险加剧,渗流会使坝体浸润线(渗流水在坝体内的饱和水位线)抬高,扩大坝体饱和区范围。坝体饱和土料的抗剪强度会显著降低,无法承受坝体自身重量及外部水压,

易在坝坡处出现滑动面, 引发滑坡病害, 轻则导致坝坡开裂、塌陷, 重则造成坝体局部失稳, 影响水库正常运行。

此外, 渗流还会导致坝基与坝肩渗透变形, 如流土(坝基土颗粒被渗流托起、整体移动)、接触冲刷(坝体与坝基接触面的土料被渗流冲刷流失)等。

### 1.2 渗流控制的重要性

有效的渗流控制是破解渗流危害、保障水库安全的核心手段, 其重要性体现在工程安全与社会价值双重层面。从工程本身来看, 通过防渗(如构建防渗墙)、排水(如设置排水孔)等措施, 可直接减少渗流量、降低浸润线, 避免管涌、滑坡、渗透变形等病害发生, 显著提升坝体与坝基的稳定性, 延长水库使用寿命, 减少后期维修与加固的频繁投入, 降低工程运维成本。

从社会价值来看, 水库安全运行与周边地区的民生福祉、经济发展紧密相关。可靠的渗流控制能确保水库正常发挥防洪、灌溉、供水等功能——汛期可安全拦蓄洪水, 保护下游群众生命财产安全; 非汛期能稳定供水, 保障农业灌溉与居民生活用水需求。若因渗流控制失效导致水库失事, 不仅会造成巨大经济损失, 还可能引发洪涝灾害, 对社会秩序与生态环境造成难以挽回的影响, 因此渗流控制是维护区域安全稳定的重要保障。

## 2 水库除险加固工程中的渗流控制技术

### 2.1 水平防渗技术

#### 2.1.1 铺盖防渗

铺盖防渗通过在坝体上游坝基或坝坡表面, 铺设透水性极小的材料形成水平防渗层, 常用材料为黏土与土工膜, 需结合工程规模、地质条件综合选择。黏土铺盖因就地取材方便、施工工艺简单, 在中小型水库除险加固中应用广泛, 但需严格把控黏土质量, 确保其渗透系数低, 同时通过分层压实工艺, 保证铺盖层达到足够厚度与压实度, 避免防渗失效。土工膜铺盖则凭借防渗性能优异、质量轻、施工效率高的优势, 适用于大型水库及复杂地质场景, 不过铺设前需平整坝基、清除尖锐杂物, 拼接时采用热焊接工艺确保密封, 防止膜体破损形成渗漏通道。二者核心作用一致, 均为延长渗径、减少渗流量, 规避渗流风险。

#### 2.1.2 淤填防渗

淤填防渗是依托水库自然条件的防渗技术, 利用水库中含沙水流在坝前区域缓慢淤积, 形成具备一定防渗性能的天然淤积层。该技术仅适用于来水含沙量较高、坝前有稳定淤积环境的水库, 其突出优势是成本低廉, 无需额外购置大量防渗材料, 施工简单且对水库正常运行影响小。但淤填过程周期长, 通常需数年至数十年, 无法用于应急除险工程, 且淤积层的质量、厚度受水流速度、水位变化等因素影响, 难以精准控制。因此, 采用该技术的水库需长期布设渗压计、测压管等设备监测, 及时掌握淤积层状态, 通过针对性维护保障防渗效果稳定。

### 2.2 垂直防渗技术

#### 2.2.1 混凝土防渗墙

混凝土防渗墙通过在坝体或坝基内浇筑连续的混凝土墙体来截断渗流, 是应用广泛的防渗技术。它防渗效果极佳, 墙体结

构密实, 能够有效阻挡各类渗流。同时, 具有较高强度与良好耐久性, 能承受坝体荷载及水流压力, 长期运行不易开裂渗漏, 使用寿命与工程主体相当。

施工方式主要有钻挖法与射水法。钻挖法利用钻孔机械开挖槽孔后进行混凝土浇筑, 对各类复杂地质条件适应性强, 但施工速度较慢, 适用于工期相对宽松、地质状况复杂的工程。射水法则借助高压水流切割土体成槽, 随后浇筑混凝土, 施工效率高、工期短, 不过对地质有一定要求, 若土层中存在大量坚硬孤石, 易影响墙体成型质量。

#### 2.2.2 高压喷射灌浆防渗墙

该技术运用高压设备, 将水泥浆以高压射流形式注入土体, 使浆液与土体混合并凝固, 从而形成防渗墙。其优势在于施工速度快, 无需大规模开挖作业, 对周边环境干扰小, 并且能依据不同地质条件灵活调整喷射参数, 适应性较强。但它对施工设备和工艺要求颇高, 若参数控制不够精准, 极易导致墙体出现不连续、密实度不足等问题, 进而影响防渗效果。

根据工程需求, 可选择旋喷、定喷、摆喷三种喷射方式。旋喷形成柱状凝结体, 适用于地基加固及高水头柱列式防渗墙; 定喷形成薄板墙, 用于低水头防渗工程; 摆喷形成较厚板墙, 适用于中低水头防渗场景, 三种方式可单独或组合使用<sup>[2]</sup>。

#### 2.2.3 土工合成材料垂直防渗

此技术将土工膜或土工织物等材料垂直铺设于坝体或坝基, 依靠材料自身的低渗透性实现防渗。土工合成材料质量轻, 运输便捷, 铺设施工操作简单, 尤其适合工期紧张、场地狭窄的工程。

施工时需重点关注材料的连接与保护环节。材料连接要确保无渗漏风险, 铺设过程中需防止材料被划伤、破损, 铺设完成后应及时回填保护层, 避免材料因长期暴露老化, 以此保障防渗性能的长期稳定。

### 2.3 排水减压技术

#### 2.3.1 坝体排水

坝体排水针对坝体渗流, 通过特定结构导出渗流水, 核心是降低浸润线, 减少渗透破坏, 提升抗滑稳定性, 主要有棱体排水和贴坡排水两种形式。

棱体排水在坝体下游坡脚用块石、碎石堆砌棱体, 渗流水经坝体渗入棱体后排出, 排水效果好, 还能支撑坝体增强稳定性, 但需设过渡滤层防填土流失。

贴坡排水在下游坡面铺砂砾石、土工排水网等排水层, 表面加保护层, 施工简便、成本低, 对坝体干扰小, 但疏导深层渗流能力弱, 降低浸润线效果有限, 适合中小型工程<sup>[3]</sup>。

#### 2.3.2 坝基排水

坝基排水聚焦坝基渗流, 通过排水设施排渗流水, 核心是降低扬压力, 避免管涌、流土等破坏, 常用排水孔与排水廊道。

排水孔在坝基钻孔并填透水性滤料, 渗流水经滤料入孔排出, 布置灵活、成本低, 可针对性解决局部渗流, 但需严控钻孔垂直度与滤料质量, 防坍塌或堵塞。

排水廊道在坝基开挖廊道,内壁设排水孔(缝),渗流水汇入后排出,适用于大型工程,排水效率高,还可用于后期监测检修,但施工难度大、周期长、成本高,对坝基岩体稳定性要求高。

### 3 渗流控制技术在库除险加固工程中的发展趋势

#### 3.1 材料的创新与应用

材料是渗流控制技术的核心载体,随着材料科学的飞速发展,新型防渗与排水材料不断打破传统材料的性能局限,成为水库除险加固的重要突破口。在防渗材料领域,高性能土工合成材料逐渐取代传统黏土、普通土工膜,这类材料通过改良配方与生产工艺,不仅防渗性能大幅提升,渗透系数远低于传统材料,还具备更强的抗老化、抗拉伸能力,在复杂地质条件下不易破损,使用寿命延长50%以上;同时兼具环保优势,部分新型土工膜可实现降解,避免长期运行对周边水土环境造成污染。

在水泥基防渗材料方面,新型改性水泥浆、纤维增强水泥基复合材料成为主流,通过添加纳米颗粒、高分子聚合物等改性剂,材料的密实度与抗裂性显著提高,固化后形成的防渗体可适应坝体微小变形,避免因温度变化或荷载作用出现开裂渗漏。未来,随着材料研发的深入,兼具高防渗性、高耐久性、低成本与环保性的新型材料将进一步普及,不仅能降低施工难度,还能大幅提升水库渗流控制的长期稳定性,尤其适用于老旧水库的除险加固工程<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 技术的集成与优化

水库除险加固工程中,单一渗流控制技术往往难以应对复杂的工程病害——例如,仅采用混凝土防渗墙无法解决坝体浅层渗流问题,仅用土工合成材料防渗又难以承受高水头压力。因此,技术的集成与优化成为未来发展的必然趋势,核心思路是根据水库的地质条件、病害类型(如坝体渗漏、坝基管涌、接触渗漏等)与工程需求,将多种渗流控制技术组合应用,实现“1+1>2”的效果。

例如,针对坝体渗漏与坝基渗透变形并存的水库,可采用“高压喷射灌浆防渗墙(阻断坝基深层渗流)+土工合成材料垂直防渗(控制坝体浅层渗流)+坝基排水孔(降低扬压力)”的组合方案,各技术分工明确、相互补充,既解决深层渗流隐患,又控制浅层渗漏,同时减少坝基扬压力对坝体的不利影响。此外,技术集成还注重优化施工流程,通过合理规划各技术的施工顺序(如先施工排水系统再进行防渗施工),避免不同工序相互干扰,缩短工期30%以上,同时降低工程成本,让渗流控制方案更具经济性与实用性。

#### 3.3 信息化与智能化监测

传统水库渗流监测依赖人工定期观测,存在数据滞后、精度低、无法实时预警等问题,难以满足复杂工程的安全生产需求。随着现代信息技术的普及,信息化与智能化监测成为渗流控制技术的重要发展方向,通过构建“传感器+物联网+数据分

析平台”的智能监测系统,实现对水库渗流情况的全时段、高精度管控。

具体而言,在水库坝体、坝基关键部位布设渗压计、渗流量传感器、位移传感器等设备,传感器实时采集渗压、渗流量、坝体位移等数据,通过物联网传输至云端监测平台;平台借助大数据分析 with 人工智能算法,对数据进行实时处理,自动识别渗流异常(如渗压突增、渗流量骤涨),并通过短信、平台告警等方式及时通知管理人员。这种智能化监测模式不仅打破人工监测的局限,实现24小时不间断监测,还能通过历史数据对比与趋势预测,提前预判渗流风险,为渗流控制措施的调整提供科学依据,大幅提升水库安全管理的主动性与精准性,有效避免渗漏事故的发生<sup>[5]</sup>。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

渗流问题是水库除险加固工程中需要重点关注的问题。有效的渗流控制技术可以显著降低渗流对水库的危害,提高水库的安全性和稳定性。水平防渗技术、垂直防渗技术和排水减压技术等在水库除险加固工程中都有广泛的应用,并且取得了良好的效果。通过实际案例分析可以看出,合理选择和应用渗流控制技术能够解决水库的渗流病害问题。

### 4.2 展望

未来,伴随科技持续进步,水库除险加固工程中的渗流控制技术将迈向创新发展新阶段。新型防渗材料的研发应用、多技术集成优化,以及信息化与智能化监测系统的深度融合,将成为核心发展趋势。后续需进一步强化渗流控制技术的研究与实践,不断提升技术应用水平,切实保障水库长期安全稳定运行,为我国水利事业高质量发展注入更强动力、贡献更多力量。

## 【参考文献】

- [1]陈成章.不同坡面防护对含裂隙混凝土坝渗流特性研究[J].陕西水利,2025,(09):168-169+173.
- [2]杨昊天.深厚覆盖层高压旋喷灌浆凝结体变形参数的水-力耦合试验研究及参数预测[J].甘肃科技,2018,34(9):80-83.
- [3]张清明,徐帅,李延卓.基于木桶理论的大坝安全综合评价方法研究[C]//中国大坝工程学会.水库大坝和水电建设与运行管理新进展.黄河水利委员会黄河水利科学研究院;黄河水资源保护科学研究院,2022:248-254.
- [4]刘大洲.水库除险加固帷幕灌浆防渗技术应用研究[J].黑龙江水利科技,2019,47(11):189-191.
- [5]张志浩,汤二伟.安徽省小型水库安全监测现状与发展趋势探讨[J].治淮,2025,(02):48-49.

## 作者简介:

李亚林(1991--),女,汉族,重庆市江北区人,本科,助理工程师,研究方向:水利工程。